

Szelénforgalom a talaj–növény rendszerben

Bevezetés. Általános szempontok

Az oxigéncsoport tagjaként (O, S, Se, Te, Po) a szelén döntően a rokon tulajdonságú kénnel fordul elő szennyezőként. Szelénben gazdag lelőhelyek nincsenek, főként a piritek kilúgzásakor marad vissza és dúsulhat fel a talajokban. Gyakorisága alapján az 54. helyet foglalja el a földkéreg elemei között, NÁRAY-SZABÓ (1956) szerint 0,1 ppm körüli átlagos mennyiséggel. A talajokban 0,1-2 ppm Se-koncentráció gyakori, bár a szeleniferous talajokban több száz ppm értéket is mérnek. A növények általában szintén 0,1-2 ppm tartományban tartalmaznak szelént, de az említett szeleniferous talajokon fejlődő indikátor *Astragalus* fajokban 10-15 ezer ppm szelén is akkumulálódhat (SZÁDECZKY-KARDOS, 1955).

Savas, redukáló és szerves anyagban gazdag talajban a nem mobilis és felvehető szelenid Se^{2-} és elemi Se, míg lúgos oxidatív szellőzött talajban a szelenit SeO_3^{2-} és szelenát SeO_4^{2-} oxidációs formák uralkodnak. Utóbbiak mobilisak, felvehetőek és toxikussá válhatnak már néhány ppm tartományban. A szelenátok általában még egy nagyságrenddel jobban felvehetőek a növény számára, mint a szelenitek, így mérgezőbbek is. A szelenátok kevésbé kötődnek meg a döntően negatív töltésű talajkolloidokon, ezért kimosódhatnak. Csapadékszegény arid vidékeken (Izrael, USA Great Plain Kanadától Mexikóig, India, Kína, Pakisztán meszes arid szeleniferous talajaiban) a Ca-szelenát forma gyakori Se-kedvelő növényekkel. A szerves Se-formákról a talajban keveset tudunk.

Meg kell említeni, hogy a talaj szerves anyagához kötött szelén nem mobilis és főként csak egyes indikátor növényfajok számára felvehető. Ezek a növények azonban elhalásuk után kiváló Se-forrásul szolgálnak a többi faj számára, tehát Se-transzformátorok. A bomló növényi részek Se-készletének pl. 50 %-át vízzoldható formában mutatták ki. A Se-formák átalakulhatnak, egymásba átmehetnek a talajban, amennyiben a talajtulajdonságok megváltoznak, pl. elsavanyodnak. A szelén illékony a talajból és a növényből is, fokhagyma- vagy retekszagot árasztva. Nagyobb hőfokon történő szárításnál a veszteség nőhet. A biológiai metiláció közismerten anaerob baktériumok közreműködésével kifejezett lehet a $\text{S} > \text{Se} > \text{Te} > \text{As} > \text{Hg} > \text{Pb}$ elemeknél. A szelén illékony formái a légkörbe kerülnek a talajból és az élő szervezetből, onnan kimosódnak 1-2 vagy néhány g/ha/év mennyiségben a talajra jutva (CHAPMAN, 1966; ALLOWAY, 1990; LISK, 1972). A hazai becslést mennyiség MOLNÁR (1977) szerint 1 g/ha/év körüli lehet.

A termőföldek már 1-5 ppm Se-tartalomnál szennyezettnek minősülnek, 5-10 ppm tartományban közepes, 10 ppm felett erős szennyezésről beszélhetünk. Takarmányban a 0,1-0,5 ppm szelén optimálisnak, míg 4-5 ppm már toxikus küszöbértéknek tekintett, a napi 70 µg feletti Se-bevitel már káros a legtöbb állatra (KOVÁCS, 1990; PAIS, 1980).

A növények érzékenysége eltérő, az érzékenyebb fajoknál a fitotoxicitást eredményező kritikus Se-koncentráció 10–40 ppm tartományban jelentkezhet a fiatalabb növényi szövetekben. A Se-kedvelő fajok kivételek. Ismert, hogy a szelén a fehérjékhez, pontosabban a S-tartalmú aminosavakhoz kötődik és itt a ként helyettesítheti. Az indikátorfajok feltehetően képesek a szelént fehérjékbe nem beépülő aminosavakkal is megkötni és így méregteleníteni.

A Se-terhelés forrásai között említhető a vulkáni tevékenység, valamint az emberi tevékenységgel összefüggésben az ipar, közlekedés, tüzelés, mezőgazdaság. Az irodalmi források szerint (LISK, 1972; SZABÓ et al., 1992; ALLAWAY, 1968; ALLOWAY, 1990 stb.) szennyvíziszapokban 1–10, foszforműtrágyákban 0,5–25, istállótrágyában 2–3, szénekben és olajokban 0,1–7 ppm szelén fordulhat elő. A légköri dúsulás (az „E” faktor) egyes szerzőknél Se esetén 5–50, másoknál az 500 feletti tartományban van az extrém szennyező Pb, Cd, elemekkel együtt. Távoli iparmentes területek is, mint Nigéria, É-Skandinávia 100-szoros légköri dúsulást jeleztek. Általában nő a felszíni talajrétegek Se-készlete, a mohák pl. 10-szeres értékeket mutatnak Európa nagy részén.

Igaz, hogy az ipari termelés ritkán okoz extrém pontszerű talajszennyezést, így a talajvédelmi határértékek között a szelén általában ma még nem szerepel. Említhető a közismert Holland-lista, Berlini-lista, hazai talajvédelmi törvény, ill. kormányrendelet tervezete stb. Kiterjedtebb Európában a Se-hiány, mint a Se-túlsúly. Jogilag a szennyvíziszapok termőföldön való elhelyezése a leginkább szabályozott, de még itt is hiányzik a szelén az EU-országok előírásaiban. Az öntözésre használt vizekben a FAO 0,02 ppm koncentrációs határértéket javasol. Hasonló a legtöbb ország előírása. Egyedi esetben a 0,5 ppm Se-tartalmú vízzel is öntöznek, de nem haladható meg a 0,1–0,2 kg/ha/év talajterhelés.

Agronómiai, élettani és környezeti szempontból egyaránt fontos a növényi Se-felvételt befolyásoló tényezők ismerete. A molibdénhez hasonlóan a szelén százezer-szeres koncentráció-különbségeket mutathat a talajbani kínálattól, növényfajtól, növényi résztől, a növény korától, egyéb anionok (szulfát, foszfát, nitrát, arzenát, molibdenát stb.) jelenlététől függően. Mivel a növényeken ritkán figyeltek meg specifikus tüneteket a szelén túlsúlya esetén, növényelemzésre van szükség. A növényi koncentráció jelzi a talajok Se-szolgáltatását is, így azok térképezhetőkké válnak Se-tartalomra. Az előregedő növényzetben a koncentráció gyakran tizedére csökken, mely körülmény a legeltetésnél figyelembe vehető. A Se-toxikózis mérsékelhető Se-szegény növényfajok vetésével vagy újravetésével, öntözéssel, ha a víz Se-mentes, Se-hiányos takarmányokkal való keveréssel (hígulási effektus), a talajok gipszezésével, ill. szulfátok adagolásával a S/Se arány javítása céljából stb. Sajnos, a szeleniferous talajok – eredetükből kifolyólag – gyakran szulfátosak, így a szulfát-kén talajjavító anyagként hatástalan.

Hazai talajok és növények Se-ellátottsága

A hazai geokémiai vizsgálatok során folyók árterének üledékeit és 50 jellegzetes talajszelvényt elemeztek. A Se-tartalom 10–400 ppb tartományban ingadozott az üledékes közetekben és a talajokban, alacsony készletet mutatva. A minták 90 %-a 0,1 ppm alatti volt, különösen a rhyolit-tufák, mészkövek, homokkő, homokos üledékek, míg a nagyobb Se-koncentráció a szulfid mineralizációs területeket jellemezte (GONDI, 1991).

A Budapesti Fővárosi Növényegészségügyi és Talajvédelmi Állomás (BFNTÁ), a német Környezetvédelmi Minisztérium szakembereivel 40 termőhely talajait vizsgálta hazai természetvédelmi körzetekben. Az adatok szórását, a háttérterhelés mértékét a geológiai körülmények határozták meg. A Bükk térségében 4-5 ppm kiugró értékek is előfordultak, míg általános volt a 0,03-2 ppm közötti koncentráció (MARTH, 1995). A geokémiai és a környezetvédelmi célú elemzések a talajok és kőzetek összes Se-tartalmának meghatározására irányultak királyvizes, ill. cc HNO_3 + cc H_2O_2 kioldást alkalmazva. Módszertani vizsgálatok szerint a két módszer által kapott eredmények jól egyeztek.

A FAO által kezdeményezett akció során, a '70-es évek közepén, egységes talaj- és növénymintavételre került sor 30 ország részvételével. A szigorúan előírt egységes mintavételi eljárás és módszertan lehetővé tette az eredmények nemzetközi szintű összevetését és a termőhelyek, régiók tápelem-ellátottságának megítélését. A minták elemzését a finn talajtani intézet laboratóriuma végezte. Magyarországon 250 termőhelyet, 106 kukorica- és 144 búzátáblát mintáztunk az ország egész területére terjedően. A begyűjtött anyag archiválása lehetővé tette, hogy egyre újabb elemek analizésére is sor kerüljön az elmúlt két évtized folyamán.

A sokoldalú vizsgálatok szerint a magyar termőtalajok a nemzetközi átlaggal egyező mobilis, azaz NH_4 -acetát + EDTA-oldható Se-koncentrációval rendelkeztek. A búzák fiatal hajtása és a kukoricalevelek közel álló és átlagosan 38 ± 21 ppb Se-tartalmat jeleztek. A minimális érték 12, a maximális érték 195 ppb Se volt. A nemzetközi átlag $n = 3600$ mintaszám mellett 109 ± 258 értékkel volt jellemezhető 1-5112 ppb Se-tartományban. A talaj- és növényvizsgálati eredmények együttes értékelése szerint hazánk termőhelyeinek 20 %-a esett az alacsony ellátottsági tartományba, míg 80 %-a többé-kevésbé megfelelőnek minősült. A megfelelő vagy „kielégítő” ellátottság a nemzetközi átlaghoz való relatív viszonyt takart, nem élettani optimumokat. A hazai növényminták Se-tartalma valójában a nemzetközi középmezőny alsó harmadában,

1. táblázat

Hazai termőtalajok felvehető Se-tartalmának alakulása a %-os gyakoriság, ill. a főbb talajtulajdonságok függvényében
(NH_4 -acetát + EDTA-kioldás, ppm. $n = 1000$) (PATÓCS, 1990)

Koncentráció intervallum	%-os gyakoriság	pH (KCl) szerint	Se ppm	CaCO_3 % szerint	Se ppm
0,1 alatt	32	4,5 alatt	0,18	1 alatt	0,29
0,1 - 0,3	16	4,5 - 5,5	0,25	1 - 5	0,42
0,3 - 0,5	15	5,5 - 6,5	0,32	5 - 10	0,69
0,5 - 1,0	25	6,5 - 7,5	0,57	10 - 15	0,81
1,0 felett	11	7,5 felett	0,88	15 felett	1,07

Szelvényben cm	Se ppm	Humusz %	Se ppm	Kötöttség K_A	Se ppm
0 - 30	0,39	1 alatt	0,52	30 alatt	0,39
30 - 60	0,51	1 - 2	0,53	30 - 38	0,49
60 - 90	0,66	2 - 3	0,52	38 - 42	0,53
-	-	3 - 4	0,44	42 - 50	0,60
-	-	4 felett	0,45	50 felett	0,58

míg talajaink mobilis Se-készlete a középmezőnyben helyezkedett el (SILLANPÄÄ & JANSSON, 1992; KÁDÁR, 1995).

A hazai Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) keretében 1000 mintavételi helyet elemeztek az ország minden körzetére kiterjedően. Az NH_4 -acetát + EDTA-oldható „mobilis” Se-tartalma átlagosan 0,39 ppm volt a 0-30 cm-es, 0,51 ppm a 30-60 cm-es és 0,66 ppm a 60-90 cm-es talajrétegekben. A minták 32 %-ában 0,1 ppm alatti, míg 11 %-ában 1,0 ppm feletti volt a Se-koncentráció. A talajtulajdonosságok közül a humusztartalom és a kötöttség érdemben nem módosította az átlagos Se-tartalmakat, míg a pH és a CaCO_3 % növekedésével párhuzamosan a szelén készlete néhányszorosára emelkedett az 1. táblázat adatai szerint (PATÓCS, 1990).

Összefoglalóan megállapítható, hogy Se-hiányos területek hazánkban a savanyú talajokhoz kötődnek, ahol mind a talajok mobilis Se-készlete, mind a növények Se-tartalma alacsony. Utóbbi megállapítást a FAO vizsgálatok is igazolták. Mivel talajaink fele a szántott rétegben savanyú és az elsavanyodás előrehaladt az elmúlt évtizedekben, a Se-hiány növekedésével kell számolnunk a jövőben.

Szabadföldi Se-terhelési tartamkísérlet eredményei

Intézetünk nagyhőrcsöki kísérleti telepén, meszes vályog humuszos csernozjom talajon 1991 tavaszán állítottunk be Se-terhelési kísérletet 0, 30, 90, 270 mg/kg, azaz a szántott rétegre vetítve 0, 90, 270, 810 kg/ha Se-adagokat alkalmazva Na_2SeO_3 formájában. Amint a 2. táblázatban látható, a Se-só toxikus hatása minden növényfajon jelentkezett és nem csökkent, hanem nőtt az évekkel. Feltehető, hogy a Na-szelenit fokozatosan Ca-szelenáttá alakul ezen a jól szellőzőtt meszes talajon. A talajba adott szelén mintegy 80 %-át tudtuk kimutatni a szántott rétegben cc HNO_3 + cc H_2O_2 kioldással, valamint 30-40 %-át NH_4 -acetát + EDTA-oldható, ún. mobilis vagy „felvehető” formában (3. táblázat). A kísérlet 6. évében, 1996-ban végzett mélyebb fúrások szerint már a 30-60, sőt a 60-90 cm-es réteg is mérhetően szennyeződött a legnagyobb adagú kezelésben.

2. táblázat

Se-terhelés hatása (Na_2SeO_3 forma) a növények termésére (t/ha)
(Szabadföldi tartamkísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Év	Növény, növényi rész	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
		0	30	90	270	
1991	Kukorica szem	8,2	7,6	5,7	4,3	1,5
1992	Sárgarépa gyökér	15,2	14,4	7,2	*	4,8
1993	Burgonya gumó	12,5	10,5	3,8	1,5	3,5
1994	Borsó mag	3,4	2,4	*	*	0,8
1995	Cékla gyökér	11,5	8,9	*	*	-
1996	Spenót levél	22,4	16,4	*	*	-
1997	Búza szem	7,5	6,4	0,5	*	1,0

Megjegyzés: *Növényzet kipusztult. A kukorica, borsó, búza magtermés légszáraz súly, a többi nyers súly

3. táblázat

Se-terhelés hatása a talaj szántott rétegének Se-tartalmára (mg/kg)
(Szabadföldi tartamkísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Mintavétel év, hónap	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
	0	30	90	270	
1994. április	cc HNO ₃ + cc H ₂ O ₂ kioldás („összes” Se)				11
	1	29	81	224	
	NH ₄ -acetát + EDTA kioldás („mobilis” Se)				
1991. július	< 1	7	23	123	43
1991. augusztus	< 1	6	34	84	17
1992. november	< 1	7	66	81	13
1994. április	< 1	8	33	89	11

A növények Se-tartalma a terheléssel több nagyságrenddel megnőtt és a dúsulás minden növényi részben, a generatív szervekben is jelentkezett. Extrém, több száz ppm Se-koncentrációkat jelzett a borsó, cékla és spenót lombja (4. táblázat). A termés betakarításkor maximálisan 100-150 g/ha Se-felvételt mutatott a kukorica, sárgarépa és burgonya növényeknél. Ez azt is jelenti, hogy pl. 10 ppm, azaz 30 kg/ha 0-20 cm feltalaj szennyezése esetén minimum 300 évre lenne szükség a talaj biológiai tisztu-

4. táblázat

Se-terhelés hatása a növények Se-tartalmára (mg/kg száraz anyag)
(Szabadföldi tartamkísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Növényi rész	Mintavétel hónap, nap	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
		0	30	90	270	
Kukorica 1991-ben						
Hajtás	júl. 8.	-	9	24	60	5
Levél	aug. 8.	-	7	16	40	3
Szár	nov. 25.	-	6	11	20	1
Szem	nov. 25.	-	8	12	22	1
Sárgarépa 1992-ben						
Lomb	jún. 29.	-	103	161	*	26
Lomb	okt. 7.	-	38	64	*	15
Gyökér	okt. 7.	-	33	63	*	13
Burgonya 1993-ban						
Lomb	jún. 14.	2	132	204	244	20
Lomb	júl. 12.	1	154	208	254	23
Gumó	szept. 7.	3	47	84	75	10
Cukorborsó 1994-ben						
Lomb	máj. 26.	-	200	291	300	40
Szár	jún. 14.	-	126	*	*	-
Szem	jún. 14.	-	176	*	*	-

-: Mérésbatár, azaz 1 ppm alatt; *: A növényzet kipusztult.

Megjegyzés: A cékla lomb 1995-ben 608 ppm, a spenót levele 1996-ban 765 ppm maximális Se-koncentrációt mutatott erős mérgezésnél.

lásához. Ez az út tehát aligha járható. A gyomnövények hasonló Se-tartalmakat és fitotoxicitást jeleztek. A Se-felvétel adatait az 5. táblázat, a növényfedettségvi-szonyokat a 6. táblázat foglalja össze.

5. táblázat

Se-terhelés hatása a növények föld feletti termésébe épült Se mennyiségére (g/ha)
(Szabadszántó kísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Év	Növényi rész	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
		0	30	90	270	
Kukorica aratáskor						
1991	Szemben	< 1	58	66	93	10
1991	Szárbán	< 1	23	40	60	4
	Összesen	< 1	81	106	153	15
Sárgarépa betakarításkor						
1992	Lombban	< 1	49	43	*	4
1992	Gyökérben	< 1	90	80	*	10
	Összesen	< 1	140	123	*	11
Burgonya						
1993	Gumóban	< 1	100	67	23	29

* Állomány kipusztult

6. táblázat

Se-terhelés hatása a gyomosodásra, ill. a növényfedettség %-ára
(Szabadszántó tartamkísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Növény	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
	0	30	90	370	
1991. július 3. – Kukorica					
Kukorica	24	24	19	18	6
Gyom	8	5	2	1	6
Összesen	32	29	21	19	8
1992. június 9. – Sárgarépa					
Sárgarépa	3	3	1	*	2
Gyom	46	49	2	*	27
Összesen	49	52	3	*	29

* Állomány kipusztult

A Se-terhelés toxikus hatását nyomon követhettük a borsó szimbióta N-kötő gümőbaktériumainak visszaszorulásán, valamint az endomikorhiza kolonizáció gátlásán (7. táblázat). Az 1991. évi kukorica szemtermés csírázási tulajdonságainak romlása jelzi, hogy a Se-mérgezés messzeható károsodást okozhat, az utódok életképessége csökken (8. táblázat).

Összefoglalóan megállapítható, hogy a szelén toxicitása egyaránt jelentkezhet a termés mennyiségének és minőségének csökkenésében, valamint a talajtermékenység

olyan jellemzőiben, mint a N-kötő baktériumok és mikorrhiza gombák tevékenységének gátlása. Mivel a talaj mikrobiális közösségei nem egyformán érzékenyek a terhelésre, egyes fajok visszaszorulnak, míg mások felszaporodhatnak a szennyezett talajban.

7. táblázat

Se-terhelés hatása a borsó gümőképződésére (1994. május 30. virágzáskor)
(Szabadföldi tartamkísérlet, mezőföldi meszes vályog csernozjom talaj)
(Köves-Péchy Krisztina, Vörös Ibolya és Bíró Borbála adatai)

Mintavételi jellemzők	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
	0	30	90	270	
Gümőszám, db/100 növény					
Főgyökér	55	53	0	2	48
Oldalgökér	69	40	2	1	47
Összesen	124	93	2	3	78
Arbuszkuláris mikorrhiza kolonizáció					
M gyakorisága	92	68	60	15	-
M intenzitása	44	24	25	2	-
A gyakorisága	31	0	27	0	-
A intenzitása	17	0	3	0	-

M: mikorrhizáltság; A: arbuszkulumok.

Megjegyzés: A 90 és 270 mg/kg Se-terhelésnél pusztuló növényzet

8. táblázat

Se-terhelés hatása a kukorica szemtermésének csírázására (%)
(Vetőmag Vállalat vizsgálata, 1991. Mezőföldi meszes vályog csernozjom)

Vizsgált tulajdonság	1991 tavaszán adott Se, mg/kg				SzD _{5%}
	0	30	90	270	
Hulladék	1	1	2	2	1
Beteg csíra	2	4	3	4	3
Rothadt csíra	14	16	18	36	18
Ép csíra	83	79	77	58	18
Összesen	100	100	100	100	-

Szelén beépülése az állati szervekbe

Szabadföldi kísérletünkben 1992-ben termett sárgarépa felhasználásával az ÁTE Takarmányozástani Tanszéke etetési kísérleteket végzett nyulakkal. A kontroll-takarmány 1,0 ppm körüli Se-tartalommal rendelkezett száraz anyagra számítva és a nyúl-szervek átlagos koncentrációja is közeli volt. Maximumot a vese mutatott 4,1 ppm értékkel, míg a csontban és a zsírszövetben a szelén kimutathatóság alatt maradt. A szennyezett takarmány 36,2 ppm szelént tartalmazott és etetésével minden nyúl szerv nagyságrendi dúsulásokat jelzett. Maximális dúsulást a májban találunk 65 ppm, ill. a vesében 39 ppm értékkel. Minimális akkumuláció a csontban, szőrben és a zsírszövetekben figyelhető meg 0,6–3,2 ppm tartományban.

Amint a 9. táblázatban látható, a szelén a molibdénhez hasonlóan rendkívül mobilis, extrém módon beépülhet az állati szervekbe. Mobilitására utal, hogy feleslege nemcsak a bélsárban, hanem a vizeletben is megjelenik. (A vizelet összetétele friss tömegre van megadva.) Az etetési kísérlet 20 napig tartott, a szelénnel kezelt répa alacsony gyökértermése nem tette lehetővé a hosszabb idejű vizsgálatot. Az állatok élő-súlya a kísérleti periódus végén gyakorlatilag nem különbözött a kezeléstől függően. Minden kezelésben csökkent viszont a kolineszteráz enzim aktivitása. A részletes

9. táblázat

Kezelések hatása a nyúlszervek összetételére (mg/kg száraz súlyra számolva)

(Etetési kísérlet: ÁTE Takarmányozástani Tanszék.

Analízis: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete)

Vizsgált jellemzők	Se 1992-ben		Se 1993-ban		Mo 1992-ben	
	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt	Kontroll	Kezelt
Takarmány*	1,0	36	4	62	0,5	39,0
Szív	0,6	19	7	22	0,1	1,2
Tüdő	0,7	15	7	17	-	1,2
Máj, epe	1,7	65	10	79	1,3	1,9
Vese	4,1	39	11	32	0,8	3,5
Lép	2,0	15	4	12	-	1,1
Here	1,0	22	7	17	0,2	0,7
Izom	1,3	14	4	12	-	0,4
Csont	-	3	2	4	-	1,2
Szőr	1,4	3	5	7	-	0,4
Zsírszövet	-	1	1	1	-	0,1
Bélsár	-	12	mn	mn	0,4	25,3
Vizelet**	0,1	3	-	1	0,4	6,6
SzD _{5%}	4,0		5		1,5	

-: Méréshatár 0,1 ppm alatt; * 1992-ben sárgarépa gyökér-, 1993-ban burgonya gumótermés;

** Vizelet-összetétel friss súlyra megadva; mn: mérés nem történt

vizsgálatokat Fekete Sándor, Glávits Róbert, Hullár István és Szilágyi Mihály végezte az Állatorvostudományi Egyetemen. Megemlítjük, hogy az etetési kísérlet 6 kezeléscsoport 5-5, azaz összesen 30 újjélandi fehér vegyes ivarú nyúl beállítását jelentette egyenként átlagosan 2-3 kg-os élősúllyal.

A kísérletet 1993-ban megismételtük az 1993-ban termett burgonya gumótermésének takarmányozásával. Az előző évihez hasonlóan az állatonként adott 50 g nyúltáp mellett a burgonyagumót ad libitum etettük. Mivel a burgonya gazdagabb szelénben, a kontrolltakarmány 4 ppm, a szennyezett 62 ppm szelént tartalmazott. A kontrollcsoport nyúlszervei átlagosan 5 ppm, a kezelt takarmányt fogyasztók szervei 19 ppm értéket mutattak. Maximális dúsulást a máj és a vese jelzett a kontrollcsoportban 10-11, ill. a kezelt csoportban 79 ppm (máj) és 32 ppm (vese) értékkel. Utóbbi csoportban a szelén a vizeletben is kimutatható volt. Az 1993. évi adatok összességében tehát megerősítették az előző év eredményeit.

Összefoglalás

Áttekintve a szelén forgalmára vonatkozó eddigi, szerénynek mondható ismereteket, az alábbi tanulságok és következtetések fogalmazhatók meg:

1. Irodalmi utalások szerint a szelén a savas, redukáló és szerves anyagban gazdag talajokban nem mobilis és a növény számára felvehetetlen szelenid Se^{2-} és elemi Se, míg a lúgos oxidatív szellőzött talajokban mobilis és felvehető szelenit SeO_3^{2-} és szelenát SeO_4^{2-} formában fordul elő. A szelenátok nagyságrenddel mobilisabbak, felvehetőbbek és így mérgezőbbek a szeleniteknél.

2. A hazai geokémiai és talajtani felvételezések eredményei alapján egyaránt rendelkezünk szelénben szegény és gazdag kőzetekkel és termőhelyekkel, bár az üledékes kőzeteink összes Se-készlete inkább mérsékeltnek minősül nemzetközi összehasonlításban.

3. Talajaink NH_4 -acetát + EDTA-oldható „mobilis” Se-tartalma a lúgossággal többszörösére nő és átlagos értéke közeli vagy egybeesik a FAO vizsgálatok átlagával. Se-hiányos területeink a savanyú talajokhoz kötődnek, ahol mind a talaj, mind a növények Se-tartalma kicsi. Nagyobb Se-dúsulást a hazai növényvizsgálatok sehol nem jeleztek, viszont már a '70-es évek közepén gyűjtött fiatal búza- és kukoricaminták 1/5-e kifejezetten alacsony ellátottságot jelzett a nemzetközi mezőnyben.

4. Az ipari és egyéb emberi tevékenység által okozott jelentős Se-szennyezésről nincsenek hazai adatok. A légköri regionális vagy globális Se-terhelés 1–2 vagy néhány g/ha/év mennyiségre tehető Európában az irodalmi utalások szerint. Ez a forrás nem ellensúlyozhatja a talajsavanyodás szelén felvételét gátló hatását. Mivel művelt talajaink fele már a szántott rétegében többé-kevésbé elsavanyodott és a folyamat felgyorsult az utóbbi évtizedekben, a Se-hiány kiterjedésével számolhatunk.

5. Szennyezéskor a szelén extrém módon feldúsulhat a növényben és azt követően a növényevő állati szervezetben. Az ellenőrizetlen Se-adagolás könnyen vezethet a talaj, a növény, az állat és végső soron az ember mérgezéséhez. További sokoldalú vizsgálatok szükségesek a tápláléklánc Se-forgalmának feltárásához hazai viszonyaink között. Ezek a kutatások tudományközi együttműködést igényelnek abból a célból, hogy a jelenségeket összetettségükben ismerhessük meg, ahogy azok a természetben megnyilvánulnak.

Irodalom

- ALLAWAY, W. H., 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. *Advances in Agronomy*. **2**. 235–274.
- ALLOWAY, B. J., 1990. *Heavy Metals in Soils*. Blackie & Son, Ltd. London.
- CHAPMAN, H. D. (Ed.), 1966. *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. University of California. Riverside.
- GONDI, F., 1991. Environmental geochemistry: the example of selenium. In: *Cycling of Nutritive Elements in Geo- and Biosphere*. (Ed.: PAIS, I.) 5–18. KÉE. Budapest.
- KÁDÁR I., 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- KOVÁCS F., 1990. *Állathigiénia*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- LISK, D. J., 1972. Trace metals in soils, plants, animals. *Advances in Agronomy*. **24**. 267–325.
- MARTH P., 1995. Természetvédelmi területek talajainak háttérszennyezettsége. BFNTÁ. Budapest. Kézirat.

- MOLNÁR Á., 1997. Szóbeli közlés. Föld- és Környezettudományi Tanszék. Veszprém.
- NÁRAY-SZABÓ I., 1956. Szervetlen kémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- PAIS, I., 1991. Criteria of essentiality, beneficiality and toxicity. What is too little and too much? In: Cycling of Nutritive Elements in Geo- and Biosphere. (Ed.: PAIS, I.) 59-77. KÉE. Budapest.
- PAIS I., 1980. A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- PATÓCS, I., 1990. Occurrence of heavy metals, toxic elements in the soils of Hungary. In: Hardly Known Trace Elements. (Ed.: PAIS, I.) 19-30. KÉE. Budapest.
- SILLANPÄÄ, M. & JANSSON, H., 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries. FAO Soils Bulletin. No. 65. Rome.
- SZABÓ S. A., GYÓRI D. & REGIUSNÉ M. Á., 1992. Mikroelemek a mezőgazdaságban. II. Stimulatív hatású elemek. Béres Rt. Budapest.
- SZÁDECZKY-KARDOS E., 1955. Geokémia. Akadémiai Kiadó. Budapest.

Érkezett: 1998. március 5.

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest